

GESTIÓ DE RISCOS TORRENCIALS: EL PROJECTE IMPRINTS

Marc Berenguer; Daniel Sempere Torres

Centre de Recerca Aplicada en Hidrometeorologia, Universitat Politècnica de Catalunya. Jordi Girona, 1-3 Edifici ParcUPC K2M, S104. 08034 Barcelona. Email: marc.berenguer@crahi.upc.edu.

PARAULES CLAU: *avingudes torrencials, corrents d'arrossegalls, previsió de pluja a molt curt termini, models meteorològics, sistemes d'alertes d'inundacions.*

INTRODUCCIÓ

Les pluges intenses són la causa de desastres naturals que afecten de manera important a la societat. Tradicionalment, les inundacions, i especialment les causades per avingudes torrencials o *flash floods* (amb temps de resposta entre 15 minuts i unes quantes hores, amb intensitats que poden produir el 25% de l'acumulació anual en unes quantes hores), s'han considerat com el desastre natural directament causat per les pluges intenses. Tanmateix, un bon nombre d'activitats socio-econòmiques també requereixen d'enfocs específics per a la caracterització de l'afectació esperada. Aquestes inclouen la gestió del trànsit o el transport aeri, activitats econòmiques exteriors (construcció, agricultura,...) o activitats de lleure (com poden ser activitats esportives, turisme,...).

En aquest entorn, el requeriment principal és l'anticipació de l'ocurrència de pluges intenses per caracteritzar la magnitud del fenomen (típicament expressada com a període de retorn) amb prou temps per a l'actuació de les autoritats de protecció civil, serveis d'emergència, o fins i tot per la població.

Finalment, el risc és el resultat de la combinació de la magnitud del fenomen amb la vulnerabilitat (exposició dels béns personals i materials al fenomen), i en aquest sentit, la resolució espacial i temporal de la informació disponible és fonamental.

Els avenços de les últimes dècades en la previsió de la precipitació amb models meteorològics (que proporcionen previsions fins a 48 o més hores), es complementen amb els avenços en la previsió de la precipitació a molt curt termini (algorismes de *nowcasting*) basats en l'extrapolació dels camps de precipitació estimats a partir de les observacions del radar meteorològic. Aquest tipus de sistemes es beneficien de l'alta resolució dels camps de pluja radar i han demostrat el seu interès en aplicacions basades en les xarxes de radars nacionals i continentals (veure, per exemple, Germann et al. 2006, Berenguer et al. 2005, 2011, 2012, 2013, Quintero et al. 2012).

De totes maneres, la transformació de les previsions de pluja en l'amenaça esperada és encara un repte pendent. Durant els últims anys, s'han portat a terme diversos projectes europeus orientats a millorar les eines disponibles en el marc de la implementació de la Directiva Europea d'Inundacions (2007/60/EC), i en els Plans de Gestió del Risc d'Inundacions imposats per la Directiva (veure per exemple Alfieri et al. 2012).

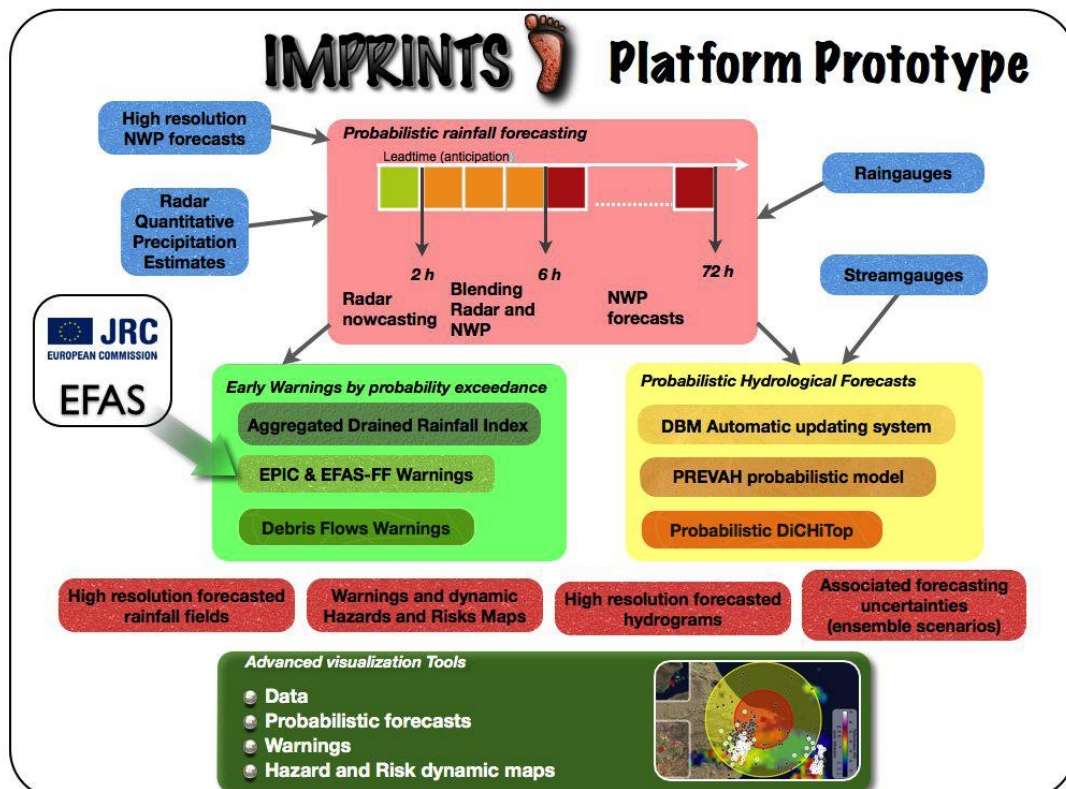


Figura 1 – Esquema funcional de la plataforma desenvolupada en el marc del Projecte IMPRINTS.

En aquest article s'hi presenten els elements necessaris per la generació d'alertes d'inundacions torrencials en temps real, prenent com a exemple l'eina desenvolupada en el Projecte del 7è Programa Marc "IMproving Preparedness and Risk maNagement for flash floods and debris flow events" (FP7-ENV-2008-1-IMPRINTS 226555).

LA PLATAFORMA IMPRINTS

La Fig. 1 mostra un esquema general dels elements inclosos en la plataforma desenvolupada en el marc del projecte IMPRINTS (Sempere-Torres et al. 2010). A la Figura s'hi observa una de les característiques fonamentals del projecte que és l'estudi de la incertesa en les diferents components del sistema de predicció hidrològica.

La plataforma s'ha aplicat a sis conques d'estudi afectades per avingudes torrencials a la zona mediterrània (Llobregat, Guadalhorce, Gardon d'Anduze i Destra Sele) i als Alps (Linth i Verzasca).

Previsions de pluja

Les entrades principals de la plataforma són les observacions de pluja del radar meteorològic i les previsions de precipitació obtingudes amb el Sistema de Predicció meteorològica per Conjunts (*Ensemble Prediction System*) COSMO-LEPS.

Les observacions del radar es fan servir per generar previsions de pluja a molt curt termini (típicament fins a temps de previsió al voltant de 2 hores). En el marc del projecte s'han desenvolupat dues tècniques de previsió probabilística de pluja en base a conjunts: SBMcast (Berenguer et al. 2011 –veure Fig. 2) i NORA (Panziera et al. 2011), aquesta última per a la predicció de pluja orogràfica al vessant sud dels Alps.

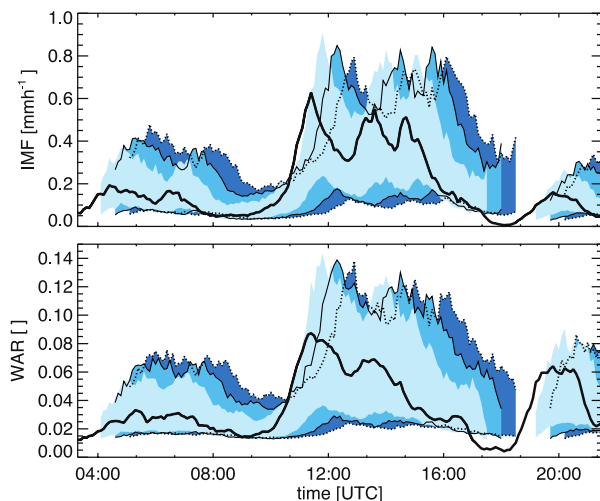


Figura 2. Sèries temporals de la pluja mitjana (a dalt) i àrea normalitzada de pluja (a baix) sobre el domini d'estudi, obtingudes a partir de les observacions del radar (línia contínua), i intervals de confiança per les previsions probabilístiques de 30, 60 i 90 minuts (blaus de clar a fosc) generades amb el mètode SBMcast.

A més a més, pel rang de previsions entre 2 i 6 hores s'ha desenvolupat un mètode de combinació de les previsions de pluja obtingudes amb el mètode de nowcasting i amb els models meteorològics. Aquesta

combinació (Atencia et al. 2010; Hernández et al. 2010) permet millorar els resultats obtinguts amb qualsevol dels dos sistemes per separat.

Alertes en base als productes de pluja

Els productes probabilístics de pluja prevista s'han implementat per a una estimació preliminar de l'amenaça potencial d'avingudes en base a l'agregació de la pluja aigües amunt de cada punt del territori i a cada pas de temps, i en l'estimació de la probabilitat d'excedència (Corral et al. 2009; Alfieri et al. 2011). Aquest enfoc s'ha implementat a dos nivells: (1) a escala europea sobre del domini del Sistema Europeu d'Alertes d'Inundacions (EFAS –Thielen et al. 2009) utilitzant les prediccions dels 16 membres de COSMO-LEPS fins a 3 dies i amb una resolució de 3 hores i 1 km, i (2) a escala regional fent servir els productes de previsió de pluja a molt curt termini (fins a 6 hores) i amb una resolució de 30 minuts i 1 km en l'àmbit d'algunes de les conques pilot (veure, per exemple, Versini et al. 2013).

Malgrat que aquests productes no es basen en una simulació hidrològica estricta, l'agregació de la pluja drenada a cada punt es pot considerar com un indicador del potencial d'inundació (veure la Fig. 3), i la simplicitat del mètode permet aplicar-lo massivament sobre el territori i amb un mínim d'informació i amb un temps d'actualització curt.

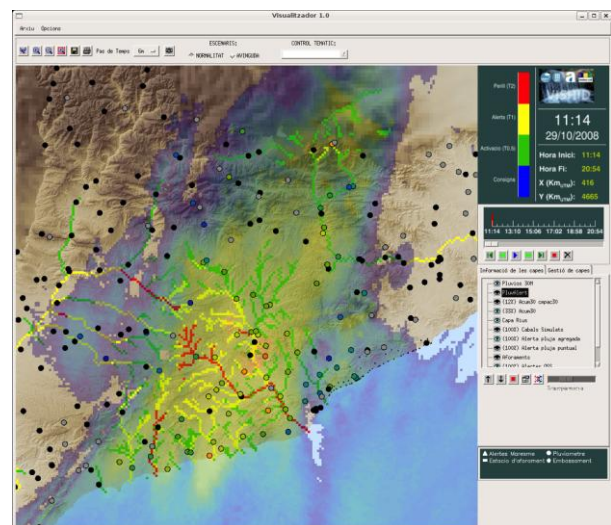


Figura 3. Exemple de les alertes generades en base al producte de pluja drenada a cada punt. Els punts marcats en vermell mostren les zones on la pluja drenada supera una probabilitat d'excedència de 2 anys de període de retorn.

En paral·lel, s'ha desenvolupat una tècnica de lògica difusa per a la caracterització de l'amenaça de l'ocurrència de corrents d'arrossegalls (*debris flows*) en conques de capçalera que classifica el nivell d'amenaça en "baix", "intermig" i "alt" (veure Fig. 4). El sistema es basa en combinar una caracterització de la susceptibilitat de la conca basada en criteris geomorfològics amb una estimació de la magnitud de l'episodi.

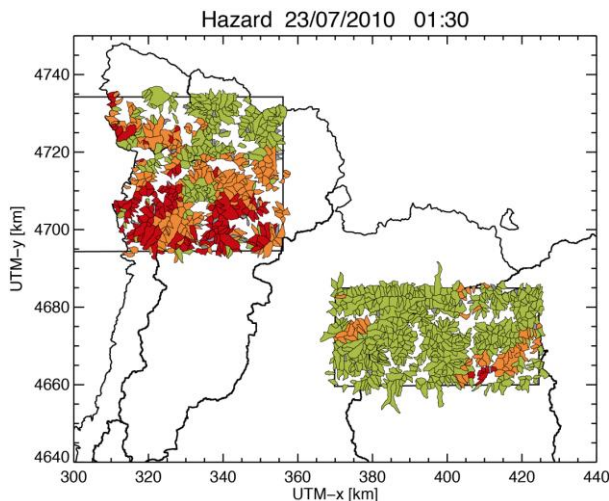


Figura 4. Mapa d'alertes de corrents d'arrossegalls corresponent al 23 de Juliol de 2010 a les 01:30 UTC a dos subdominis dels Pirineus catalans. Els colors de les conques es corresponen amb nivells d'amença baix, intermig i alt (verd, taronja i vermell, respectivament).

Previsions hidrològiques

Les previsions de pluja són fonamentals a l'hora d'allargar l'anticipació de la resposta hidrològica d'una conca petita o mitjana (veure, per exemple, Berenguer et al. 2005, o la Fig. 5).

A les conques pilot del projecte s'han implementat diferents sistemes de previsió de cabals (e.g. Smith et al. 2011, Quintero et al. 2011, Zappa et al., 2011) que permeten caracteritzar la incertesa en les diferents components de la previsió hidrològica (veure, per

exemple, la Fig. 6). D'aquesta manera, les previsions de cabal generades a cada pas de temps van acompanyades de l'interval de confiança, com una mesura de fiabilitat.

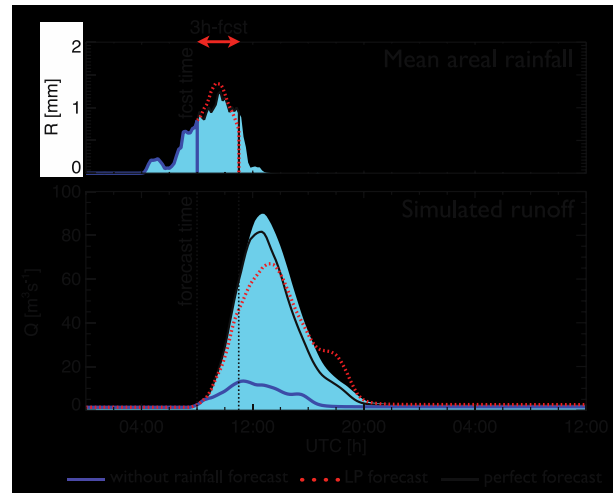


Figura 5. Ús de les previsions de pluja en la previsió hidrològica. A dalt, hietograma de la pluja mitjana sobre la conca i a baix, hidrogrames simulats amb el model hidrològic DiChiTop (Corral et al. 2009). La zona d'ombrejat blau correspon a la pluja observada i a les simulacions de cabal amb la pluja coneguda. La línia vermella correspon a la pluja observada fins al temps de previsió i a les simulacions de cabal corresponents. La línia puntejada blava correspon a l'extensió de la sèrie de pluja amb 3 hores de previsions fetes amb un mètode en base a radar, i la línia negra correspon als resultats obtinguts amb una previsió de pluja perfecta de 3 hores.

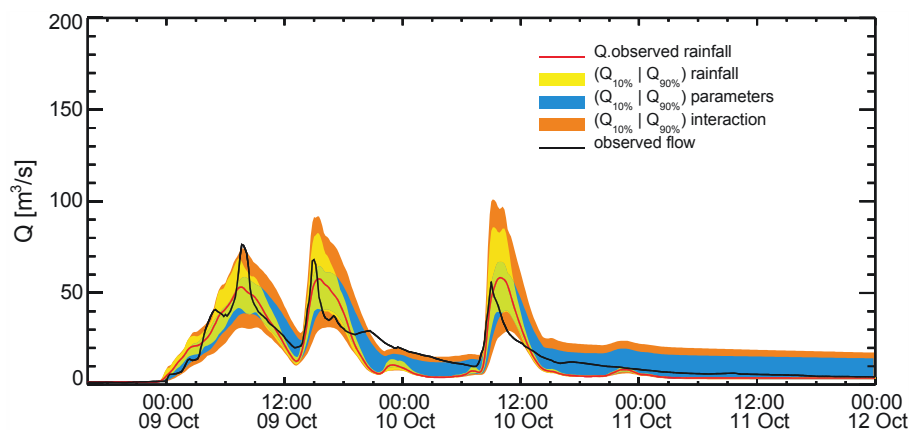


Figura 6. Anàlisi de la interacció de les fonts d'incertesa en la simulació hidrològica de l'episodi del 09-12 d'octubre de 2010 amb el mètode proposat per Quintero et al. (2012).

Aquests sistemes són molt més complexos que els mètodes basats en l'agregació de la pluja a cada punt i requereixen l'ajust dels paràmetres dels models de transformació pluja-escolament en base a observacions fiables de cabal en certs punts de la conca. D'aquesta manera, permeten generar previsions hidrològiques molt més realistes, però la seva utilització es limita a aquelles conques en què s'ha pogut realitzar una calibració, i a més a més existeix informació raonable per estimar el grau d'amença (el període de retorn).

Eines de visualització de suport a la presa de decisions

D'aquesta manera, els productes generats en el marc del projecte es resumeixen en:

- Previsions de pluja prevista entre 0 i 72 hores basats en la combinació de les previsions a molt curt termini i les previsions del Sistema de Predicció per Conjunts COSMO-LEPS.

- Estimació de l'amenaça d'inundacions a partir de l'anàlisi de les previsions de pluja drenada a cada punt del territori.
- Estimació de l'amenaça de l'ocurrència de corrents d'arrossegalls.
- Previsions hidrològiques a les conques pilot.
- Incertesa associada als productes anteriors.

Un dels reptes del projecte ha sigut la visualització dels productes generats per al suport a la presa de decisions. La plataforma de disseminació dels productes és una aplicació web que permet navegar a través dels productes en base a un servidor web de mapes, i inclou informació de punts crítics i punts amb

informació de les zones inundables (les Figures 7-10 mostren exemples dels productes generats).

CONCLUSIÓ

L'objectiu de l'eina desenvolupada en el marc del Projecte IMPRINTS és la identificació de les zones amb risc potencial d'afectació per avingudes torrencials i corrents d'arrossegalls, en àmbits territorials extensos i adaptat al funcionament operacional en temps real. Amb aquest objectiu s'hi han inclòs diferents tècniques per la previsió probabilística de pluges intenses i de la caracterització de l'amenaça amb l'objectiu de servir de suport a la presa de decisions davant de situacions de risc.

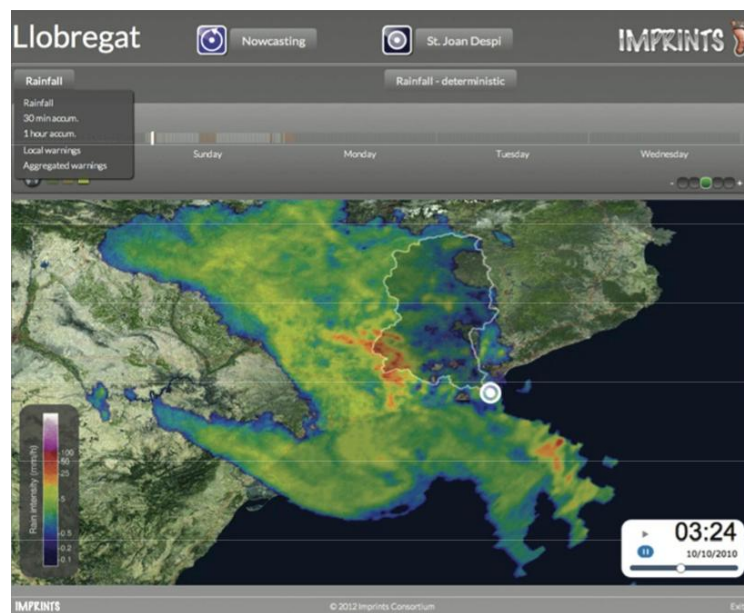


Figura 7. Captura de pantalla de la plataforma IMPRINTS per a la visualització del producte de previsió de pluja en base a radar.

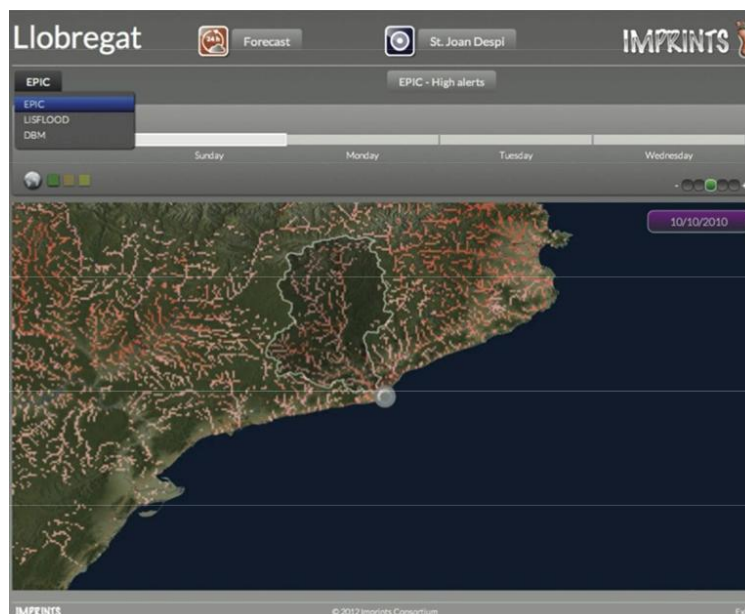


Figura 8. Captura de pantalla de la plataforma IMPRINTS per a la visualització del producte d'amenaça per pluja agregada.

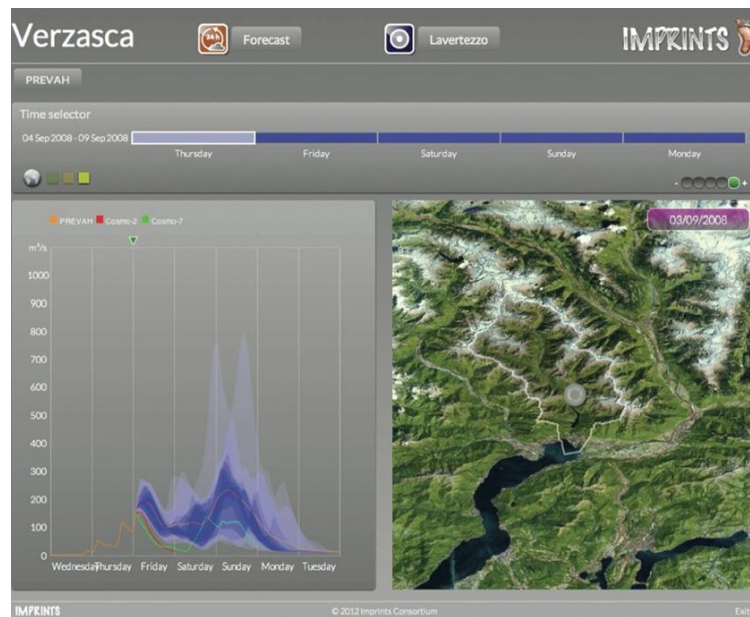


Figura 9. Captura de pantalla de la plataforma IMPRINTS per a la visualització del producte probabilístic de cabals simulats a la conca de Verzasca (Suïssa).

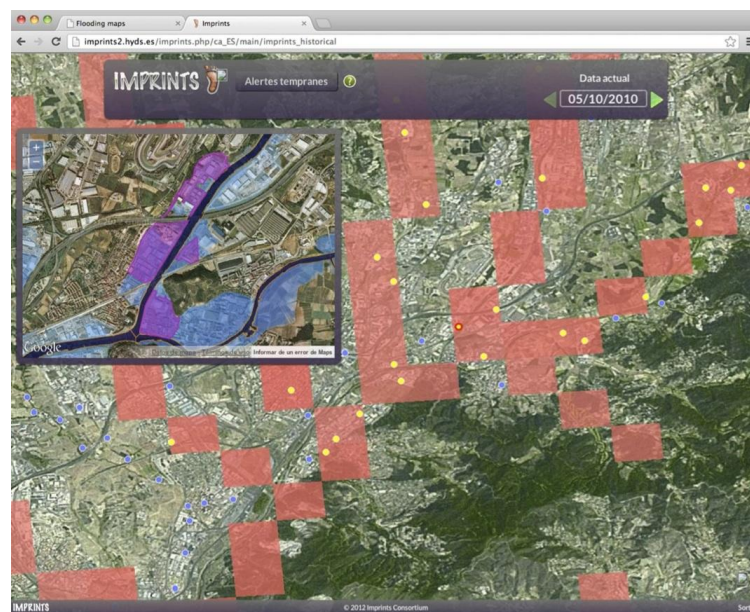


Figura 10. Captura de pantalla de la plataforma IMPRINTS per a la visualització del producte de detall d'un punt crític a la conca del Llobregat sobre el producte d'amenaça de la previsió de pluja drenada en base al sistema COSMO-LEPS.

REFERÈNCIES

- ALFIERI, L., P. SALAMON, F. PAPPENBERGER, F. WETTERHALL, i J. THIELEN, 2012: Operational early warning systems for water-related hazards in Europe. **Environmental Science & Policy**, 21, 35-49.
- ALFIERI, L., D. VELASCO, i J. THIELEN, 2011: Flash flood detection through a multi-stage probabilistic warning system for heavy precipitation events. **Advances in Geosciences**, 29, 69-75.
- ATENCIA, A., T. RIGO, A. SAIROUNI, J. MORÉ, J. BECH, E. VILA CLARA, J. CUNILLERA, M. C. LLASAT, i L. GARROTE, 2010: Improving QPF by blending techniques at the Meteorological Service of Catalonia. **Natural Hazards and Earth System Science**, 10, 1443-1455.
- BERENGUER, M., C. CORRAL, R. SÁNCHEZ-DIEZMA, i D. SEMPERE-TORRES, 2005: Hydrological validation of a radar-based nowcasting technique. **Journal of Hydrometeorology**, 6, 532-549.
- BERENGUER, M., D. SEMPERE-TORRES, i G. G. S. PEGRAM, 2011: SBMcast - An ensemble nowcasting technique to assess the uncertainty in rainfall forecasts by Lagrangian extrapolation. **Journal of Hydrology**, 404, 226-240.
- BERENGUER, M., M. SURCEL, I. ZAWADZKI, M. XUE, i F. KONG, 2012: The Diurnal Cycle of Precipitation

- from Continental Radar Mosaics and Numerical Weather Prediction Models. Part II: Intercomparison among Numerical Models and with Nowcasting. **Monthly Weather Review**, 140, 2689-2705.
- BERENGUER, M. i D. SEMPÈRE-TORRES, 2013: Radar-based rainfall nowcasting at European scale: long-term evaluation and performance assessment. **36th Conference on Radar Meteorology**, 15B.3.
- CORRAL, C., D. VELASCO, D. FORCADELL, i D. SEMPÈRE-TORRES, 2009: Advances in radar-based flood warning systems. The EHIMI system and the experience in the Besòs flash-flood pilot basin. *Flood Risk Management: Research and Practice*, P. Samuels, S. Huntington, W. Allsop, i J. Harrop, Eds., Taylor & Francis, 1295-1303.
- EUROPEAN COMMISSION, 2007: Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks.
- GERMANN, U., I. ZAWADZKI, i B. TURNER, 2006: Predictability of precipitation from continental radar images. Part IV: Limits to prediction. **Journal of the Atmospheric Sciences**, 63, 2092-2108.
- HERNANDEZ, O., BERENGUER, M., SEMPÈRE-TORRES, D. i SANCHEZ-DIEZMA, R., 2010: Improving QPF by merging forecasts from nowcasting and NWP models. **6th European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology (ERAD2010)**. Sibiu, Romania.
- PANZIERA, L., U. GERMANN, M. GABELLA, i P. V. MANDAPAKA, 2011: NORA-Nowcasting of Orographic Rainfall by means of Analogues. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, 137, 2106-2123.
- QUINTERO, F., D. SEMPÈRE-TORRES, M. BERENGUER, i E. BALTAS, 2012: A scenario-incorporating analysis of the propagation of uncertainty to flash flood simulations. **Journal of Hydrology**, 460-461, 90-102.
- SEMPÈRE-TORRES, D., D. VELASCO, M. BERENGUER et al., 2010: Chapter 4.2: Improving risk management for flash floods and debris flow events. **The water framework directive: Action programmes and adaptation to climate change**, Royal Society of Chemistry, Ed., 139-169.
- SMITH, P., BEVEN, K., PANZIERA, L. i U. GERMANN, 2011: Flash flood forecasting using Data-Based Mechanistic models and radar rainfall forecasts **Weather Radar and Hydrology**, IAHS Publ. 351: 562-567. Exeter, U.K.
- THIELEN, J., J. BARTHOLMES, M. H. RAMOS, i A. DE ROO, 2009: The European Flood Alert System - Part 1: Concept and development. **Hydrology and Earth System Sciences**, 13, 125-140.
- ZAPPA M, JAUN S, GERMANN U, WALSER A, i FUNDEL F., 2011: Superposition of three sources of uncertainties in operational flood forecasting chains. **Atmospheric Research**. Thematic Issue on COST731. Volume 100, Issues 2-3, 246-262.
- VERSINI, P.-A., M. BERENGUER, D. SEMPÈRE-TORRES, 2013: An operational flood warning system for poorly gauged basins. Demonstration in the Guadalhorce basin (Spain), **Natural Hazards**, Acceptat per publicació (novembre de 2013).